

**Ari Saukonoja**

## **ESTOKELAPARISTOYKSIKÖIDEN KORJAUS**

**Pilkington Finland Oy**

**Opinnäytetyö  
CENTRIA AMMATTIKORKEAKOULU  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Marraskuu 2014**

**TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ**

<b>Yksikkö</b> Ylivieskan yksikkö	<b>Aika</b> Marraskuu 2014	<b>Tekijä/tekijät</b> Ari Saukonoja
<b>Koulutusohjelma</b> Sähkötekniikka		
<b>Työn nimi</b> ESTOKELAPARISTOYKSIKÖN KORJAUS		
<b>Työn ohjaaja</b> Hannu Puomio		<b>Sivumäärä</b> 33
<b>Työelämäohjaaja</b> Jari Peräaho		
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin Pilkington Finland Oy:n Nivalan tehtaalle. Opinnäytetyön tarkoituksena oli kompensointiyksikön vikaantumisen selvittäminen, korjaus ehdotuksien määrittely ja niiden perusteella tehtyjen tarjouspyyntöjen käsittely sekä kompensointiyksikön korjauttaminen.</p> <p>Automaattiestokelaparistoyksiköitä oli kaksi kappaletta. Molempien yksiköiden kompensointiteho oli laskenut niin, että loistehoa jouduttiin ottamaan sähköverkosta. Tästä aiheutui ylimääräisiä kustannuksia Pilkington Finland Oy:lle.</p> <p>Vikaantumisen syyksi ilmeni rikkoontuneet kondensaattorit. Korjausvaihtoehtoja oli kolme, molempien yksiköiden uusiminen, viallisten kasettien vaihtaminen tai epäkuntoisten kasettien kondensaattoreiden vaihtaminen. Yksiköt korjattiin vaihtamalla kondensaattorit viallisiin kasetteihin. Näin saavutettiin merkittäviä säästöjä korjauskustannuksissa. Korjauksen jälkeen sähköverkosta otetun loistehon määrä tippui halutulle tasolle, eikä siitä koitunut enää ylimääräisiä kustannuksia Pilkington Finland Oy:lle.</p>		
<b>Asiasana</b> Estokelaparisto, loistehonkompensointi, yliaaltosuojaus		

## ABSTRACT

<b>Unit</b> Ylivieska unit	<b>Date</b> November 2014	<b>Author</b> Ari Saukonoja
<b>Degree programme</b> Electrical Engineering		
<b>Name of thesis</b> DE-TUNED CAPACITOR UNIT		
<b>Instructor</b> Hannu Puomio		<b>Pages</b> 33
<b>Supervisor</b> Jari Peräaho		
<p>This thesis was made for Pilkington Finland Oy Nivala factory. The aim was to identify the reason for the compensation unit failure, to determine corrective actions and to repair the defective units.</p> <p>In addition, the study included handling the received bids concerning the maintenance of the defective compensation units.</p> <p>There were two Automatic reactive power compensation units. The compensation power of both units had decreased so that reactive power had to be taken from the power grid. This caused extra costs for Pilkington Finland Oy.</p> <p>The reason for the failure was found out to be broken capacitors. There were three options for reparation, which included changing the both units, changing the defective cassettes or changing the capacitors for the defective cassettes. The units were repaired by changing the capacitors for the defective cassettes. This led to major saves in repairing costs. After repairing, the reactive power taken from the power grid dropped to the desirable level and it did not cause any extra costs for Pilkington Finland Oy anymore.</p>		
<b>Key words</b> Reactive power compensation, harmonic restraint, blocking reactors		

## KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

P	pätöteho [W]
S	näennäisteho [VA]
Q	loisteho [VAr]
$\cos \varphi$	tehokerroin
U	jännite [V]
I	virta [A]

**TIIVISTELMÄ  
ABSTRACT  
SISÄLLYS**

<b>1 JOHDANTO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 LOISTEHON KOMPENSOINTI JA YLIAALTOSUOJAUS .....</b>	<b>3</b>
2.1 Loisteho.....	3
2.2 Loistehon kompensointi.....	6
2.2.1 Yksittäiskompensointi .....	7
2.2.2 Kojeryhmien kompensointi.....	8
2.2.3 Keskitetty kompensointi.....	9
2.3 Yliaallot.....	11
2.4 Yliaaltosuojaus .....	13
2.5 Laskutus.....	14
<b>3 PILKIGTON FINLAND OY.....</b>	<b>15</b>
3.1 Loistehon kompensointi Pilkington Finland Oy:n tehtaalla .....	15
3.2 Loistehomaksu Elenia verkossa.....	16
3.3 Nykyinen järjestelmä.....	17
3.4 Korjausehdotusten käsittely .....	20
<b>4 KORJAUSTYÖ.....</b>	<b>21</b>
4.1 Työn kulku.....	21
4.2 Korjaustyön vaikutus loistehon määrään .....	25
4.3 Huomioita.....	26
4.4 Johtopäätökset .....	29
<b>LÄHTEET.....</b>	<b>31</b>

**KUVIOT**

KUVIO 1. Tehokolmio	3
KUVIO 2. Jännitteen ja virran vaihe-ero 36°	5
KUVIO 3. Jännite ja virta samassa vaiheessa	6
KUVIO 4. Moottorikohtaisen kompensoinnin toimintaperiaate	8
KUVIO 5. Moottoriryhmäkohtaisen kompensoinnin toiminta periaate	9
KUVIO 6. Keskitetyn kompensoinnin toimintaperiaate	10
KUVIO 7. Jännite säröytynyt harmonisen yliaallon vuoksi	11
KUVIO 8. Jännite säröytynyt epäharmonisen yliaallon vuoksi	11
KUVIO 9. Kokonaisvirta perustaajuuden virran ja viidennen yliaallon summana	12
KUVIO 10. Sarjaresonanssi- eli imupiirit viidennelle ja seitsemännelle yliaallolle	13

KUVIO 11. Pilkington Finland Oy:n toimitilat	15
KUVIO 12. Loistehon kehitys Pilkington Finland Oy:ssä	16
KUVIO 13. Pilkington Finland Oy:n loistehon kompensointiyksiköt	18
KUVIO 14. Loistehosäätimen näyttö	19
KUVIO 15. Loistehonkompensointi yksiköstä on poistettu porras numero 2	22
KUVIO 16. Porras numero 3	22
KUVIO 17. Kuvassa vanhoja, öljyä ulos vuotaneita kondensaattoreita	23
KUVIO 18. Vanha ja uusi kondensaattori	24
KUVIO 19. Loistehon määrän kehitys	26
KUVIO 20. Yksikön tuuletin	27
KUVIO 21. Kompensointiyksiköiden sijainti	28

## **TAULUKOT**

TAULUKKO 1. Loistehomaksut sähkölaskuista ajalta 1.1.2013 - 31.12.2013	17
--	----

## 1 JOHDANTO

Loistehon siirto ei ole verkkoyhtiöille kannattavaa, joten kuluttajia ohjataan sanktiomaksulla tuottamaan eli kompensoimaan itse tarvitsemansa loistehon. Kuluttaja käyttää ainoastaan pätötehoa, mutta maksaa näennäistehon määrän, jossa on mukana loisteho. Tämän lisäksi, jos loistehon määrä ylittää verkkoyhtiön asettaman rajan, joutuu kuluttaja maksamaan loistehon siirrosta myös sanktiomaksua.

Loistehonkompensointi kulutuskohteessa on yksinkertaista, eikä siitä tule hankintakustannuksien jälkeen juurikaan muita kuluja. Loistehonkompensointiin löytyy jonkin verran erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja. Nykyään käytetään yleisimmin automaattiestokelaparistoja, jotka kestävät verkossa esiintyviä yliaaltoja hyvin.

Pilkington Finland Oy:n loistehonkompensoinnin riittämättömyys oli huomattu vuonna 2011 tehdyssä sähkö tarkastuksessa. Tuolloin ehdotettu noin 10 000 € korjaus oli todettu liian kalliiksi, koska kompensoinnin toiminta oli vielä siedettävällä tasolla, sanktiomaksun ollessa noin 100 €/kk. Loistehon määrän kehityksen seuranta päätettiin kuitenkin aloittaa.

Vuonna 2012 loistehosanktiomaksua kertyi lähes 250 € kuukaudessa. Elokuussa 2013 sanktiomaksu oli jo 340 € kuukaudessa. Maaliskuussa 2014 sain tehtäväkseni selvittää kompensoinnin vajaatoiminnan syyn ja mahdolliset korjausvaihtoehdot. Vajaatoiminnan syyksi ilmeni rikkoontuneet kondensaattorit. Niiden korjaamiseen löytyi kolme vaihtoehtoa, joista valitsimme kustannustehokkaimman. Valitussa vaihtoehdossa korjauksen kokonaiskustannukseksi kertyi 3 644 €. Korjauksen jälkeen loistehon määrä väheni halutulle tasolle, eikä ylimääräistä sanktiomaksua enää tarvinnut maksaa.

Pääluvussa kaksi käydään läpi kompensoinnin teoriaa. Pääluvussa käsitellään mihin loistehoa tarvitaan ja kuinka loistehoa voidaan kompensoida. Lisäksi pääluvussa käsitellään yliaaltojen syntymistä ja niiden aiheuttamia ongelmia, sekä kuinka niiltä suojaudutaan.

Seuraavassa pääluvussa käsitellään Pilkington Finland Oy:n tapausta, jossa loistehonkompensoinnin vajaatoiminta aiheutti ylimääräisiä kustannuksia. Pääluvussa

selvitetään kuinka loistehonsanktiomaksu määräytyy Elenia Oy:n verkossa ja kuinka loistehon kulutuksen kasvu kehittyi tehtaalla. Pääluvussa esitellään Pilkington Finlandin Oy:n loistehonkompensointi ja millaisia korjausehdotuksia eritahot esittivät ongelman ratkaisuksi.

Pääluvussa neljä käsitellään korjaustyötä ja sen vaikutuksia loistehon kulutuksen määrään. Lisäksi luvussa on huomioita siitä, mitkä asiat ovat mahdollisesti vaikuttaneet kondensaattoreiden rikkoontumiseen ja kuinka tulevaisuudessa voidaan välttyä mahdollisilta lisäongelmilta. Pääluvussa neljä on myös johtopäätökset koko opinnäytetyön suorittamisesta ja sen onnistumisesta.

Työssä on käytetty lähteinä mm. ABB Oy:n TTT-Käsikirjaa, Sähköinfo Oy:n kustantamaa Sähköasennukset 2 oppikirjaa sekä Otatieto Oy:n kustantamaa Sähköverkot 1 oppikirjaa.

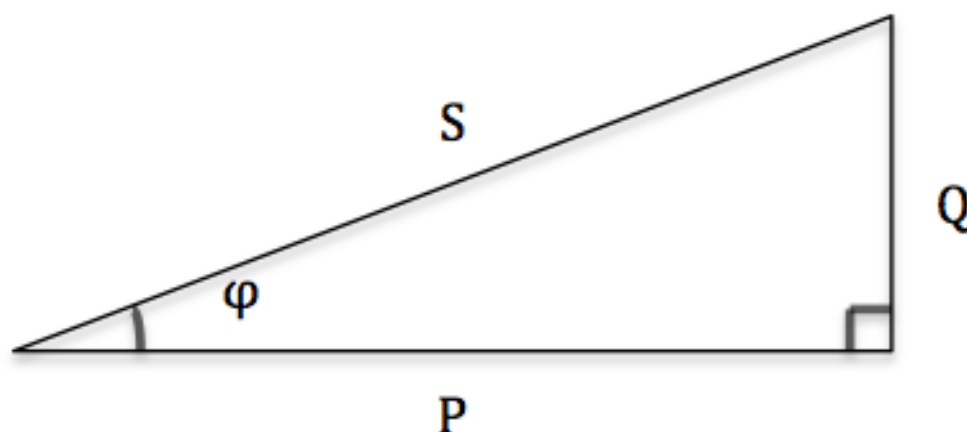


## 2 LOISTEHON KOMPENSOINTI JA YLIAALTOSUOJAUS

Loistehon siirto ei ole kannattavaa sähköyhtiöille, joten kuluttajia pyritään ohjaamaan sähkönmyyntitariffeilla niin, ettei loistehon käyttäminen verkosta olisi taloudellisesti kannattavaa, vaan sähkönkuluttajat kompensoisivat eli tuottaisivat oman loistehonsa itse. (Aura & Tonteri. 1993, 123.) Sähkölaitoksilla muodostuva yliaaltosärö voi aiheuttaa ongelmia, jos yliaaltovirrat ylittävät tietyt rajat. (ABB Industry Oy, 6.)

### 2.1 Loisteho

Loisteholla eli reaktiivisella teholla on oma yksikkö VAr (volttiampeeria reaktiivista tehoa), selvyyden vuoksi myös pätö- ja näennäistehollakin on omat yksikkönsä, vaikka ne ovat matemaattisesti yhtäläisiä. Edellä mainittuja voidaan havainnollistaa kuvion 1 tehokolmiolla, jossa hypotenuusa on näennäisteho  $S$ , kateetit ovat pätöteho  $P$  ja loisteho  $Q$ , sekä hypotenuusan ja vaakakateetin välinen kulma  $\varphi$  kertoo jännitteen ja virran vaihe-eron. (Silvonen 2009, 232.)



KUVIO 1. Tehokolmio

Pythagoraan lauseketta hyväksi käyttäen, tehokolmiosta voidaan laskea haluttu tehosuure. Esimerkiksi näennäisteho  $S$  [VA] saadaan kaavalla (1):

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (1)$$

jossa,

$P$  = pätöteho [W]

$Q$  = loisteho [VAr]

Loistehon tarpeen ilmaiseva tehokerroin  $\cos \varphi$  saadaan kaavasta(2):

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (2)$$

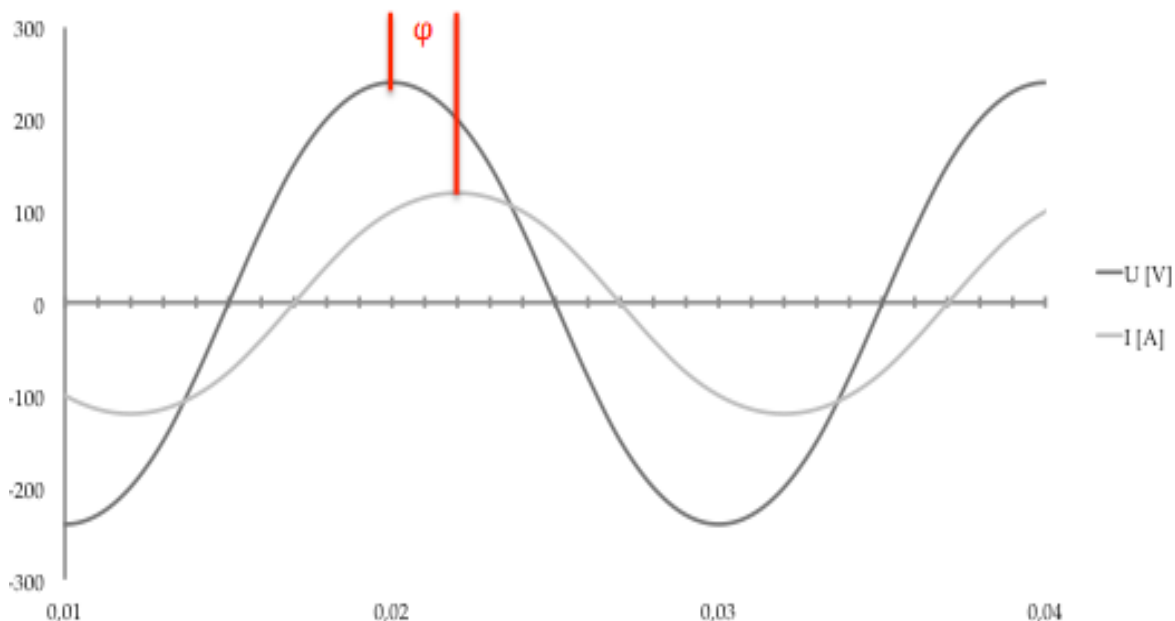
jossa,

$P$  = pätöteho [W]

$S$  = näennäisteho [VA]

Kun halutaan muuttaa tehokerroin vaihe-ero kulmaksi, käytetään kosini arkus-funktiota eli syklometristä funktiota. Laskimissa kosini arkus on merkattu  $\cos^{-1}$ .

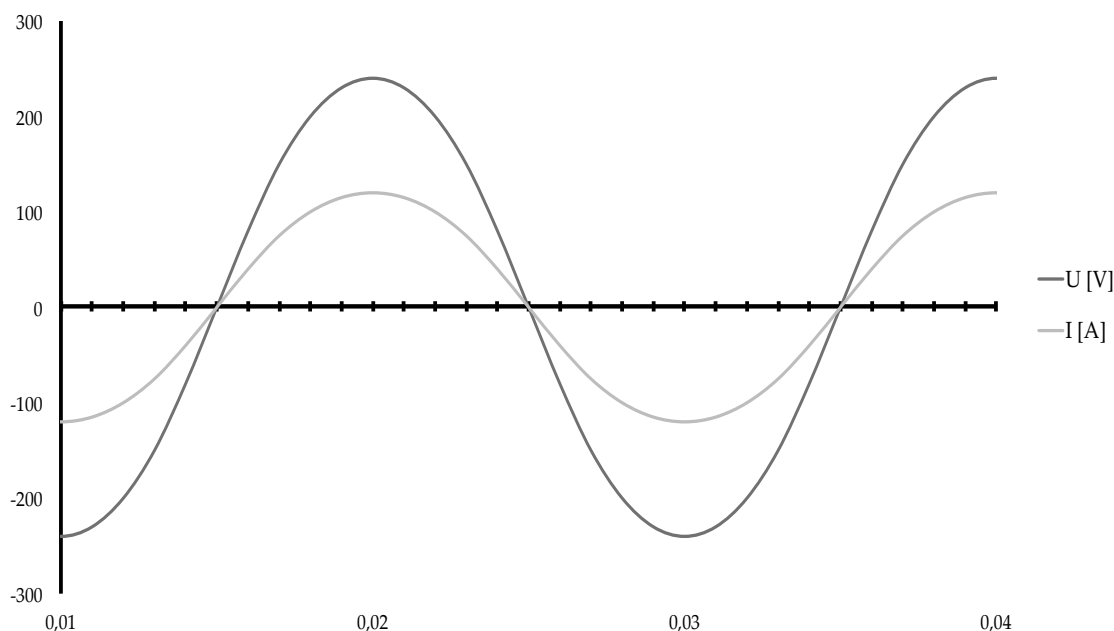
Vaihe-ero näkyy myös jännitteen ja virran sinimuotoisen aallon vaihe-erona, jota on kuvattu kuviossa 2 vaihe-eron ollessa  $36^\circ$ , jolloin tehokerroin  $\cos \varphi$  on 0,81. Vaihe-ero tarkoittaa tilannetta, jossa jännitteen ja virran siniaallot eivät ole samantyyppiset, vaan ne saavuttavat huippuarvonsa eri aikaan kuten kuviossa 2. Kyseisessä kuviossa vaihtojännite  $U$  saavuttaa huippuarvonsa ajan hetkellä 0,020 s, kun taas virta saavuttaa oman huippuarvonsa ajan hetkellä 0,022 s. Vaihe-eron syntyessä saatava teho vähenee, kunnes  $90^\circ$ :een vaihe-erolla jännitteen ollessa huippuarvossaan on virta 0 ja tällöin myös saatava teho on 0. Vaihe-eron vuoksi pätötehon tuottoon tarvitaan enemmän virtaa.



KUVIO 2. Jännitteen ja virran vaihe-ero  $36^\circ$

Jotkin sähkölaitteet tarvitsevat pätötehon lisäksi loistehoa. Loistehoksi on nimetty sähköenergia, joka sykkii vaihtosähköverkossa tuottavan ja käyttävän laitteen välillä. Loistehoa ei varsinaisesti voida käyttää hyväksi, koska vain pätöteho tekee työtä. Loistehoa tarvitaan muuttuvien magneettikenttien luomiseen. Magneettikentissä vaihtovirta jää jälkeen vaihtojännitteestä ja saavuttaa huippuarvonsa jännitteen jälkeen. Tätä kutsutaan vaihe-eroksi, jota on kuvattu kuviossa 2. (Hieta-Wilkman, Hiltunen, Jumpponen, Laitinen, Kovalainen, Roine, Sulonen & Tertsunen 2000, 56-57; Tuusa.)

Sähkönkäytön kannalta optimaalisin tilanne olisi, jos vaihe-eroa ei olisi lainkaan. Tämä tilanne voidaan havaita kuviossa 3, jossa jännite ja virta ovat samanvaiheiset, tällöin ne saavuttavat huippuarvonsa samalla ajan hetkellä. Vaihe-eron ollessa  $0^\circ$  tehokeroin  $\cos \varphi$  on 1,0.



KUVIO 3. Jännite ja virta samassa vaiheessa

Sähköverkkoon loistehoa kehitetään etupäässä generaattoreilla ja se siirretään kulutuskohteeseen kuten pätötehokin. Mitä vähemmän generaattorit tuottavat loistehoa sitä enemmän ne kykenevät tuottamaan pätötehoa. Loistehoa ei kannata ottaa sähköverkosta, koska se kuormittaa verkkoa ja sen tuottaminen käyttöpäikällä on yksinkertaista ja kustannustehokasta. Jos loistehoa otetaan jakeluverkosta, kuormitusvirran kasvaessa on mitoitettava pääsulakkeet, muuntajat ja kaapelit suuremmiksi, joka lisää kustannuksia huomattavasti. Lisäksi loistehon siirto lisää siirtohäviöitä. (Hieta-Wilkman, Hiltunen, Jumpponen, Laitinen, Kovalainen, Roine, Sulonen & Tertsunen 2000, 56-57; Tuusa 2014.)

## 2.2 Loistehon kompensointi

Loistehoa voidaan tuottaa esim. kondensaattoreilla laitteiden välittömässä läheisyydessä. Magneettikentästä purkautuva sähköenergia varastoituu kondensaattoriin, josta se purkautuu takaisin käyttöön eikä pääse takaisin sähköverkkoon, tätä kutsutaan loistehon kompensoinniksi. Loistehon kompensoinnilla pyritään välttämään loistehon siirtotarvetta sekä minimoimaan verkon mitoitus, siirtohäviöt ja välttämään loistehon sanktiomaksu. (Hieta-Wilkman ym. 2000, 56; Tuusa 2014.)

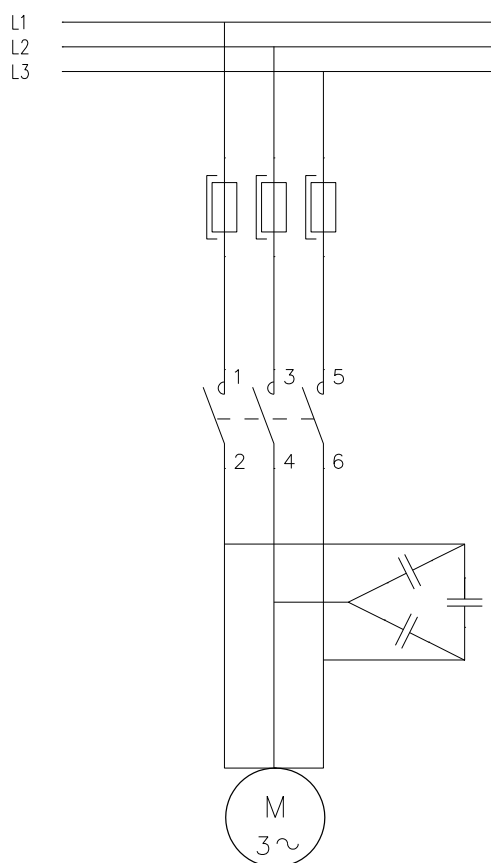
Loistehon kompensoinnin sijoituksessa kiinteistöön olisi huomioitava, ettei verkon rakentamiskustannukset ja siirtohäviöt kasva liian suuriksi. On myös muistettava huomioida hyvä käyttöympäristö, jotta kondensaattorien käyttöikä saadaan maksimoitua, eikä ikäviä yllätyksiä pääse syntymään. Kompensointiyksiköiden jäähdytys ja puhtaus on erityisen tärkeää kondensaattoreiden kestävyyskannalta. Liian suuri lämpötila lyhentää kondensaattoreiden käyttöikää ja saattaa vanhentaa niiden eristeitä nopeasti. Myös mekaaninen vaurioituminen on estettävä. (Hieta-Wilkman ym. 2000, 56-57,73.)

Loistehon kompensoinnin käyttö ei lisää sähkön käyttökuluja, koska kondensaattorit eivät kuluta sähköenergiaa, vaan niistä purkautuu saman verran energiaa, kuin niihin on varastoitunut. (Ahoranta. 2012, 169.)

### **2.2.1 Yksittäiskompensointi**

Yksittäiskompensointia käytetään tavallisesti moottoreilla, josta periaatekuvaus kuviossa 4. Yksittäiskompensointia voidaan käyttää myös purkauslampuilla. Loistehon vaihtelun ollessa vähäistä, voidaan moottorikohtainen kompensointi toteuttaa kondensaattoriyksiköllä varustetulla turvakytkimellä. Syöttöjohtojen ollessa pitkiä saavutetaan yksittäiskompensoinnilla suurimmat säästöt kaapelimitoituksessa sekä jännite- ja tehohäviöissä. (ABB TTT-Käsikirja 2000. Luku 4.)

Laitekohtainen kompensointi on yksinkertainen ja halpa toteuttaa, koska se ei tarvitse erillistä ohjauselektroniikkaa, vaan kompensointi käynnistyy kompensoitavan laitteen käynnistyessä. Koska kytkimet ja kontaktorit joutuvat kovemmalle kuormitukselle kytkentätilanteessa, on ne syytä vaihtaa kompensoimattoman laitteen komponentteja suuremmiksi. Laitekohtainen kompensointi ei ole järkevää, jos kompensoitavia laitteita on paljon. Tällöin jokaiselle laitteelle on mitoitettava oma kompensointi. Jos kompensoitava laite ei itse aiheuta yliaaltoja, ei laitekohtainen kompensointi myöskään muodosta herkästi resonansseja yliaalloilla. (Hieta-Wilkman ym. 2000, 69; ABB TTT-Käsikirja 2000. Luku 4.)



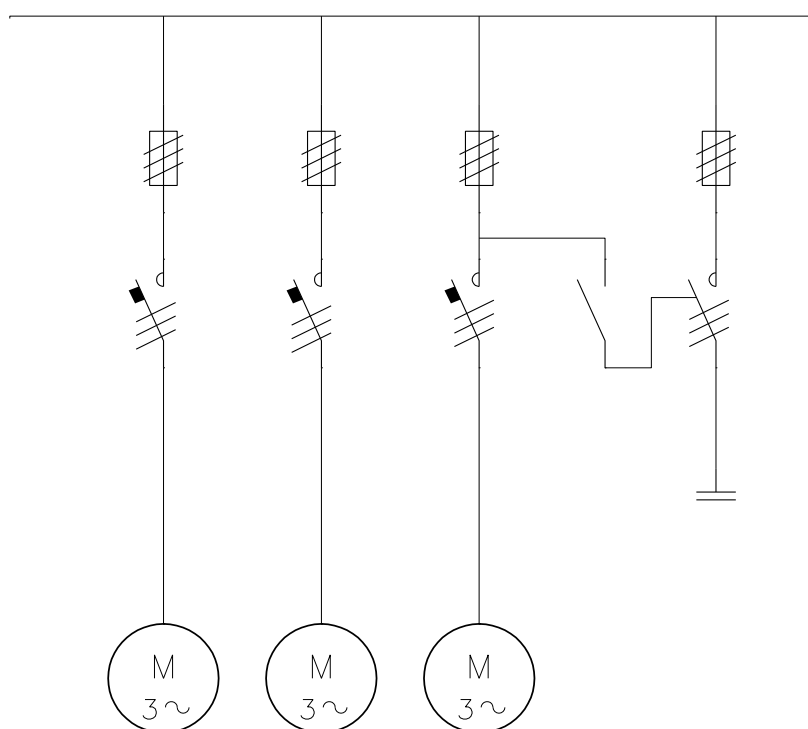
KUVIO 4. Moottorikohtaisen kompensoinnin toimintaperiaate

### 2.2.2 Kojeryhmien kompensointi

Kojeryhmien kompensointia käytetään kojeryhmissä, joiden loistehon kompensoinnin tarve ja vaihtelu on vähäistä. Kuviossa 5 on esitetty kolmen samaan aikaan käyvän moottorin ryhmäkompensointi. Moottoriryhmäkompensointi voidaan toteuttaa myös moottoreiden vuorokäyttönä, jos moottorit ovat saman tehoiset. Paristot varustetaan kytkimellä ja sulakkeilla, ne sijoitetaan ryhmäkeskukseen tai sen välittömään läheisyyteen. Kompensoinnin on kytkeydyttävä automaattisesti päältä syöttävän katkaisijan avautuessa, ettei itse herätys pääse aiheuttamaan ylijännitettä osan moottoreista seisoessa. (Hieta-Wilkman ym. 2000, 71-72; ABB TTT-Käsikirja 2000. Luku 4.)

Käytännössä, jos kompensoinnin tarve vaihtelee, ryhmäkohtaisen kompensoinnin on kyettävä ohjaamaan itseään tarvittavan kompensoinnin mukaan. Tähän tarvi-

taan erillistä mitta- ja ohjaustekniikkaa, joten se ei ole hankintakustannuksiltaan edullinen. Ryhmäkohtainen kompensointi on herkkä resonoimaan yliaaltojen kanssa, siksi ne toteutetaan nykyisin estokelaparistoilla, jossa estokela estää resonanssin. (Hieta-Wilkman ym. 2000, 71-72; ABB TTT-Käsikirja 2000. Luku 4.)



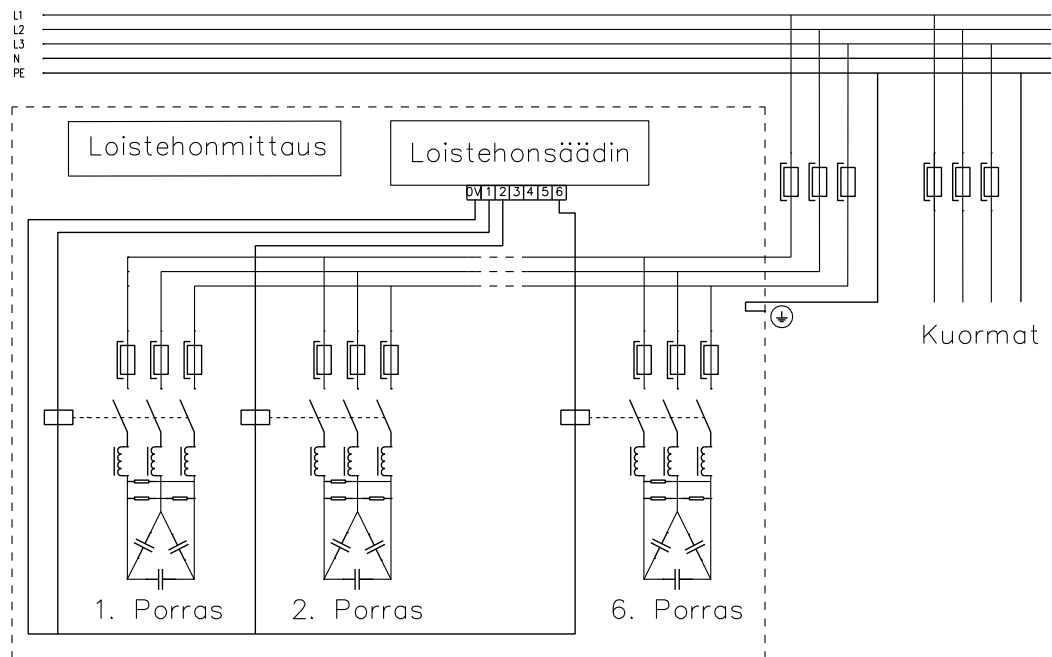
KUVIO 5. Moottoriryhmäkohtaisen kompensoinnin toiminta periaate

### 2.2.3 Keskitetty kompensointi

Keskitettyä kompensointia käytetään yleisesti, kun loistehon kompensoinnin tarvetta ja vaihtelua on paljon. Nykyisin keskitetty kompensointi on järjestetty pääasiassa automatiikkaparistoilla, jotka sijoitetaan pääkeskuksen yhteyteen omiin kaappeihinsa. Kaapit sisältävät sovitun määrään kompensointiportaita, joista tavallisesti yksi on muita pienempi ja toimii hienosäätöportana. Kaappeja voidaan kytkeä useita rinnan ja näin kasvattaa kompensointitehoa rajattomasti. Loistehonsäädin ohjaa kondensaattoriportaita kompensointi tarpeen mukaan. Keskitetyn

kompensoinnin periaatekuvaus on kuviossa 6. (Alstom Finland Oy. 2014; ABB TTT-Käsikirja 2000. Luku 4.)

Kondensaattorin kapasitanssi ja muuntajan induktanssi muodostavat resonanssitaajuuden jollakin taajuudella. Jos resonanssitaajuus osuu verkossa esiintyvälle harmoniselle yliaaltotaajuudelle, saattaa harmoninen yliaaltovirta vahvistua jopa 20-kertaiseksi ja aiheuttaa jännitteen säröytymistä. Käytettäessä estokelaparistoja ei edellä mainittua ilmiötä pääse syntymään, koska estokelaparistoissa jokaiseen portaaseen on kytketty kondensaattoreiden kanssa sarjaan rautasydäminen kuristin. Kuristimen induktanssi mitoitetaan muodostamaan resonanssitaajuus jollakin ei harmonisella yliaallolla kondensaattorin kapasitanssin kanssa. Estokelaparisto pienentää verkon jännitesäröä, vaikka se ei ole varsinaisesti yliaaltosuodatin. Todellisuudessa rautasydäminen kuristin on vain estämässä resonanssitaajuuden syntymistä ja näin ollen se suojaa kondensaattoreita rikkoontumasta. (Alstom Finland Oy. 2014; ABB TTT-Käsikirja 2000. Luku 4.)

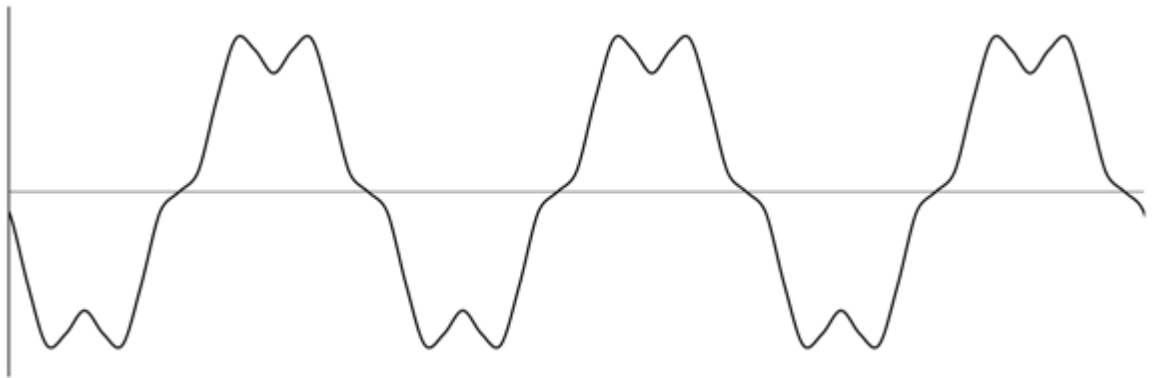


KUVIO 6. Keskitetyn kompensoinnin toimintaperiaate

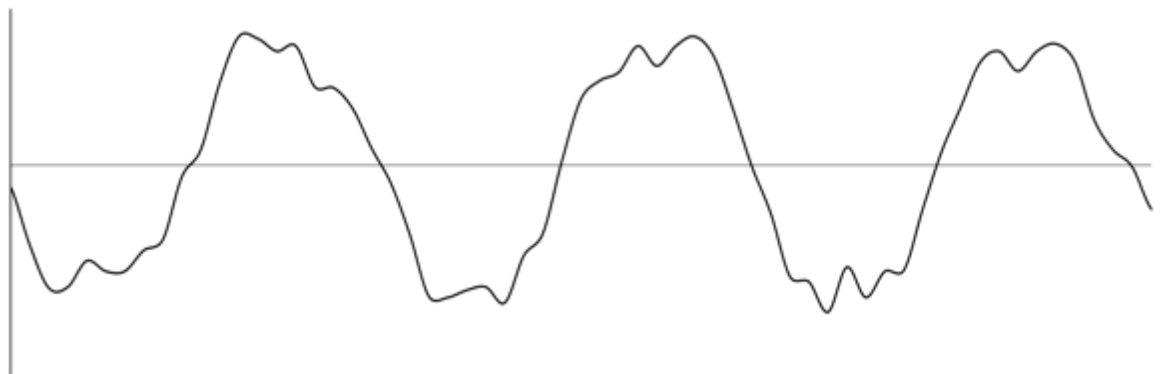


## 2.3 Yliaallot

Sähköverkossa esiintyviä jännitteitä ja virtoja, joiden taajuus ylittää verkkotaajuuden (50 Hz) kutsutaan yliaalloiksi. Yliaaltoja on kahdenlaisia; harmonisia joiden taajuudet ovat perustaajuuden kokonaislukukerrannaisia ja käyrämuodot symmetrisiä perustaajuuden sinikäyrän kanssa sekä epäharmonisia, joilla ei ole symmetrinen käyrämuoto perustaajuuden sinikäyrän kanssa. Harmonisen ja epäharmonisen yliaallon eroavuudet summautumisessa perustaajuuteen on kuvattu kuvioissa 7 ja 8. (ABB Industry Oy 2014; ABB TTT-Käsikirja 2000. Luku 9.)



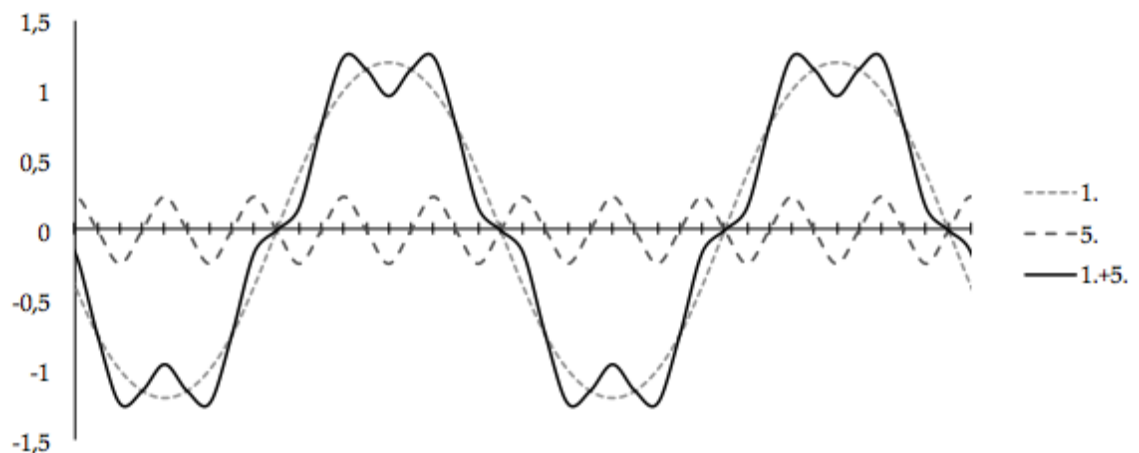
KUVIO 7. Jännite säröytynyt harmonisen yliaallon vuoksi



KUVIO 8. Jännite säröytynyt epäharmonisen yliaallon vuoksi

Verkossa esiintyy eniten kolmatta (150 Hz), viidettä (250 Hz) ja seitsemättä yliaaltoja (350 Hz). Epälineaariset yksivaiheiset kuormat lisäävät verkkoon eniten kolmatta yliaaltoja. Kolmas yliaalto on ongelmallinen nollajohtimen kannalta, koska eri vaiheiden kolmikerrannaiset yliaallot summautuvat nollajohtimessa yhteen, sillä niillä ei ole vaihe-eroa eli ne ovat samanvaiheisia. Yleensä nollajohtimessa ei ole ylikuormitussuojaa, jonka vuoksi kolmas yliaalto voi pahimmillaan kuumentaa nollajohdinta niin, että se syttyy palamaan. (ABB Industry Oy 2014, 6-8; Elovaara, Haarla 2011, 448-451.)

Osa yliaalloista syntyy jo sähkölaitoksilla. Lisäksi yliaaltoja synnyttää epälineaariset kuormat. Tällaisia kuormia ovat muun muassa hitsauslaitteet, UPS-laitteet, tietokoneet ja muut elektroniset laitteet. Kuviossa 9 on kuvattu perustaajuuden (50 Hz) ja viidennen yliaallon (250 Hz) summautuminen. (ABB Industry Oy 2014, 6-8; Elovaara, Haarla 2011, 448-451.)



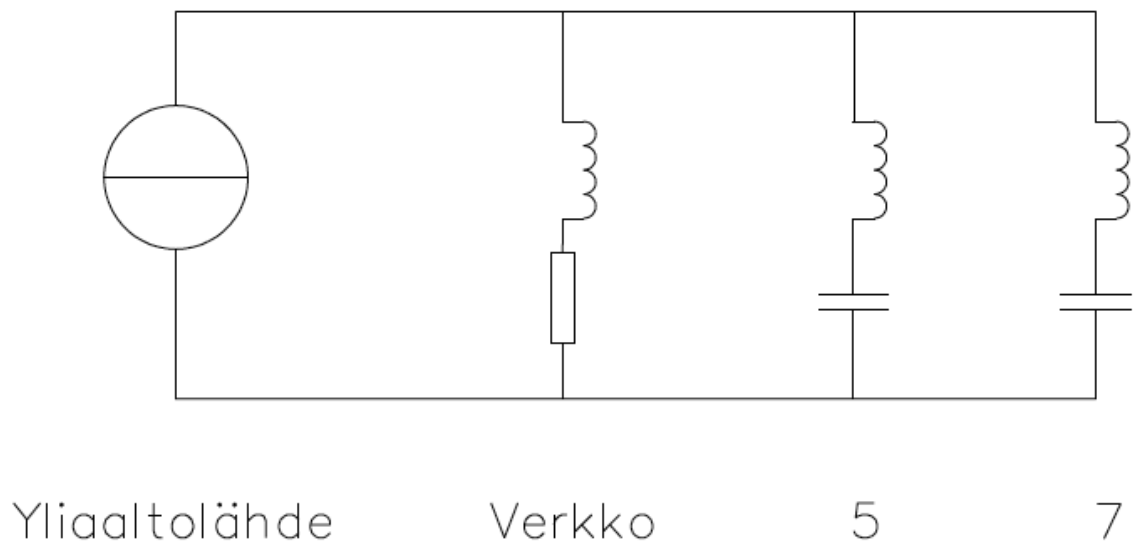
KUVIO 9. Kokonaisvirta perustaajuuden virran ja viidennen yliaallon summana

Sähköverkossa yliaallot aiheuttavat monenlaisia ongelmia. Yliaallot voivat häiritä herkkiä elektronisia laitteita ja aiheuttaa lisähäviöitä verkossa. Yliaaltojen vuoksi yliaaltoja synnyttävät laitteet ja komponentit voivat ylikuumentua. Elektronisissa laitteissa voi ilmetä häiriöitä, mittalaitteiden mittauksissa voi olla vääristymää ja

valaisimissa sekä näytöissä voi esiintyä välkyntää. (ABB Industry Oy 2014, 6-8; Elovaara, Haarla 2011, 448-451.)

## 2.4 Yliaaltosuojaus

Loistehonkompensointi yksiköissä kondensaattorit suojataan yliaalloilta laittamalla kondensaattorin kanssa sarjaan kela, näistä syntyy perusaallolla sarjaresonanssi. Yliaaltovirtoja voidaan suodattaa tehokkaimmin yliaaltosuodattimilla, eli imupiireillä, joita on oltava jokaiselle yliaallolle omansa. Tästä periaatekuvaus Kuviossa 10. ( ABB Industry Oy 2014, 6-8; Aura & Tonteri. 1993, 129.)



KUVIO 10. Sarjaresonanssi- eli imupiirit viidennelle ja seitsemännelle yliaallolle

Yliaaltosuodatinta voidaan käyttää myös loistehon kompensointiin, koska sen kapasitanssi on perustaajuudella kapasitiivinen. Osa loistehon kompensoinnista on hyvä tehdä yliaaltosuotimella, jos kiinteistössä on paljon yliaaltoja synnyttäviä laitteita. ( ABB Industry Oy 2014, 6-8; Aura & Tonteri. 1993, 129.)

## 2.5 Laskutus

Loistehon kehittäminen generaattoreilla ja siirtäminen suurjänniteverkossa ei ole kannattavaa, jonka vuoksi loisteholle on asetettu tehon siirron lisäksi niin sanottu loistehon sanktiomaksu. Loisteho sanktiomaksua paikalliset jakeluyhtiöt langettavat omille asiakkailleen, jotka käyttävät loistehoa valtakunnallisesta verkosta. Osan loistehon käytöstä sähköyhtiöt antavat ilmaiseksi. Aikaisemmin ilmaisosuuden määrä vastasi noin tehokerrointa  $\cos \varphi = 0,9$ . Nykyisin riittävä kompensointi saavutetaan tehokertoimella  $\cos \varphi = 0,98$ , joka ei ole nykyisillä järjestelmillä liian hankala saavuttaa. (Hieta-Wilkman ym. 2000, 58.)

Ylikompensointikaan ei ole verkonkannalta kannattavaa, mutta sille ei ole asetettu yleistä sanktiomaksua. Ylikompensointia on kuitenkin pyrittävä välttämään. Jos loistehoa ei kompensoida kulutuskohteessa, vaan se siirretään kaikki sähköverkkoa pitkin, on kulutuskohteen pääsulakekokoa kasvatettava, joka puolestaan nostaa sähköverkon liittymismaksua. (Hieta-Wilkman ym. 2000, 58.)

### 3 PILKINGTON FINLAND OY

Kansainvälinen Pilkington plc osti marraskuussa 2002 nivalalaisen Keskipohjan Lasi Oy:n, joka oli perustettu vuonna 1986. Yritys nimettiin tuolloin Pilkington Nivala Oy:ksi. Japanilainen NSG Group osti Pilkington plc:n vuonna 2006. Pilkington nimi säilytettiin rakennus- ja autolasipuolen tuotenimenä. Lokakuussa 2006 Pilkington Nivala Oy:n nimi vaihdettiin Pilkington Finland Oy:ksi. Pilkington Finland Oy on jatkojalostustehdas, joka toimittaa rakennusteollisuudelle eristyslasia, karkaistua lasia, tasolasia, laminoitua lasia ja erikoislaseja. Tehdas työllistää tällä hetkellä 36 henkilöä. Pilkington Finland Oy:n liikevaihto oli vuonna 2012 13,1 miljoonaa euroa ja vuonna 2013 9,3 miljoonaa euroa. (Keskipohjanmaa 2002; Pilkington; Taloussanomat 2013.)

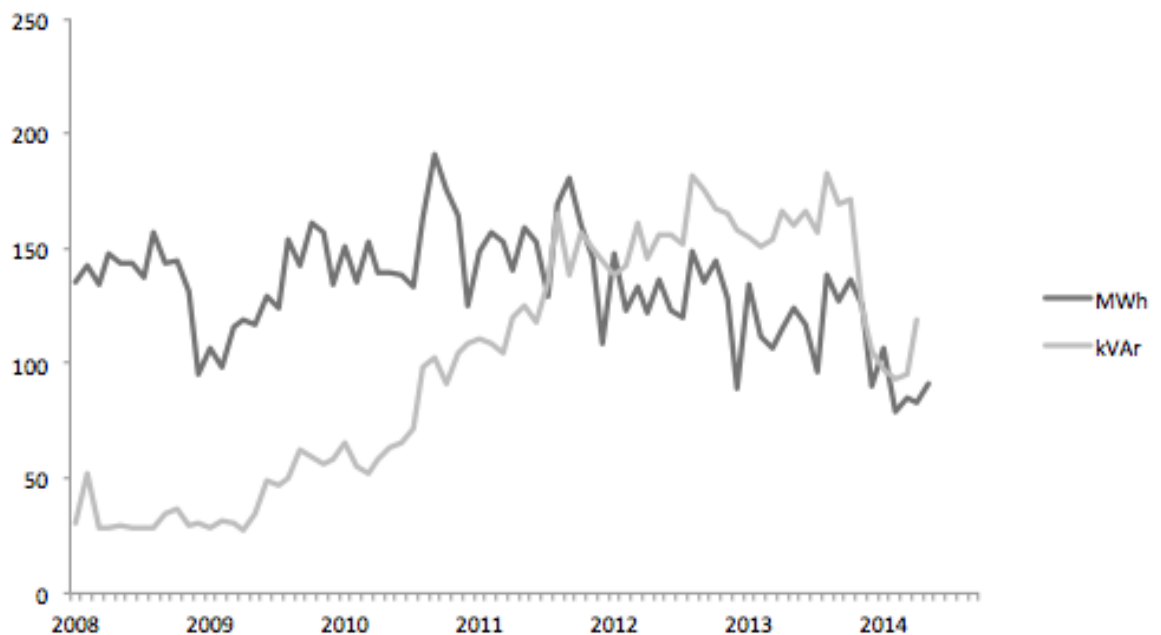


KUVIO 11. Pilkington Finland Oy:n toimitilat

#### 3.1 Loistehon kompensointi Pilkington Finland Oy:n tehtaalla

Ensimmäinen virallinen huomautus loistehon kompensoinnin viallisuudesta löytyy vuonna 2011 tehdyn sähkö tarkastuksen pöytäkirjasta. Kuviosta 12 ilmenee kuitenkin osittaisen vikaantumisen tapahtuneen jo vuonna 2009, jolloin loistehon määrä kohosi pysyvästi yli 40 kVAR:n. Syyskuussa 2010 loistehon määrä oli noussut ensimmäisen kerran maksurajan yli, tuolloin loistehoa kului jo 103 kVAR:a ja maksua kertyi 8,46 €/kk. Marraskuussa 2010 loistehon määrä ylitti pysyvästi sanktionmaksu rajan. Toukokuussa 2011 loistehon määrä ylitti 125 kVAR:n rajan ja

sanktiomaksua kertyi tuolloin 109,98 €/kk. Elokuussa 2011 loistehon sanktiomaksu oli jo 279,18 €/kk, josta se on noussut hiljalleen vuoden 2013 elokuuhun asti, jolloin kulutus on ollut suurimmillaan, tuolloin loistehoa kului 182 kVAr:a ja sanktiomaksu oli 340,08 €/kk. Sähkönkäytön vähentyminen on voinut hidastaa loistehon määrän lisääntymistä 2012-2013.



KUVIO 12. Loistehon kehitys Pilkington Finland Oy:ssä

### 3.2 Loistehomaksu Elenia verkossa

Loistehomaksu Elenia verkossa määräytyy Pilkington Finland Oy:lle loisteho mittauksen mukaan. Kesäkuukausina (1.4-31.10) laskutettavaa pätötehoa laskettaessa otetaan mitatusta kuukausitehosta huomioon 80 %. Kuluneen vuoden kahden suurimman kuukausitehon keskiarvosta vähennetään 16 %. Tämän ylittävästä osasta määräytyy sanktiomaksu 4,63 €/kVAr. (Elenia 2014.)

TAULUKKO 1. Loistehomaksut sähkölaskuista ajalta 1.1.2013 - 31.12.2013

2013	Kuukausiteho kW	Loisteho kVAr	Laskutettu loisteho kVAr	Loistehomaksu €
Tammikuu	580	155	51	222,36
Helmikuu	594	151	51	222,36
Maaliskuu	603	154	57	248,52
Huhtikuu	583	166	69	300,84
Toukokuu	594	160	63	274,68
Kesäkuu	581	166	69	300,84
Heinäkuu	572	157	60	261,6
Elokuu	620	183	86	374,96
Syyskuu	619	169	72	313,92
Lokakuu	611	171	74	322,64
Marraskuu	594	123	27	117,72
Joulukuu	606	106	9	39,24

Taulukossa 1 on vuoden 2013 mitatut kuukausiteho, loisteho, laskutettavan loistehon osuus sekä loistehomaksut kuukausittain. Esimerkiksi Joulukuun 2013 mitatusta 106 kVAr:n loistehosta on vähennetty kahden suurimman kuukauden maaliskuun 603 kW ja joulukuun 606 kW kuukausitehojen keskiarvosta 16 %:a vastaava osuus, joka on 97 kW, joten laskutettavaa loisteho on jäänyt 9 kVAr. Kun tämä 9 kVAr:n loisteho kerrotaan 4,63 €/kVAr yksikköhinnalla, maksettavaa kertyy 39,24 €. Koska kesäkuukausien kuukausitehoista vähennetään 20 %, ne eivät ole nousseet suurimmiksi.

### 3.3 Nykyinen järjestelmä

Pilkington Finland Oy:llä on käytössä kaksi rinnan kytkettyä Norelco Oy:n valmistamaa kaappimallista automaattiestokelaparistoa, jotka näkyvät kuviossa 13. Oikean puoleisessa kaapissa sijaitsee loistehosäädin, joka ohjaa molempien kaappien toimintaa automaattisesti kompensointitarpeen mukaan.



KUVIO 13. Pilkington Finland Oy:n loistehon kompensointiyksiköt

Yksiköt on otettu käyttöön vuonna 2000 tehdyn laajennuksen yhteydessä. Vuoden 2000 jälkeen kompensoinnin tarve ei ole merkittävästi kasvanut.

Estokelaparistot sisältävät kaksitoista kasettia, joissa on varokkeet, kontaktorit, kuristimet ja kondensaattoreita. Yksi kaseteista on ns. hienosäätöporras, jonka kapasiteetti on 25 kVAr, loput kaseteista ovat kapasiteetiltaan 50 kVAr. Kaiken kaikkiaan kompensointi tehoa pitäisi olla 575 kVAr.

Automaatiikka ohjaa kompensointia tarpeen mukaan niin, ettei ylikompensointia pääse tapahtumaan. Tehdasasetuksena yksikölle on asetutettu tavoitearvoksi  $\cos \varphi$  1, jossa automaatiikka pyrkii pysymään. Kun verkon induktiivinen loisteho nousee 25 kVAr:iin, automaatiikan kuuluisi kytkeä hienosäätöporras päälle. Tarpeen noustessa edelleen 50 kVAr:iin kytkeytyy hienosäätöporras pois ja yksi normaali 50 kVAr:n porras päälle. Seuraava porras kytkeytyy kompensointitarpeen noustessa jälleen 50 kVAr. Näin loistehon tarve ei pääse kasvamaan koskaan yli 50 kVAr:n, jos kokonaiskapasiteetti ei ylity.



Laitteen automatiikka on havainnut hienosäätöportaan vikaantuneen ja poistanut sen käytöstä, tämän vuoksi ensimmäinen porras käynnistyy vasta 50 kVAR:n tarpeessa ja sammuu tarpeen laskiessa alle 50 kVAR:n. Jos loistehon tarve olisi vakio, pysyisi tarve koko ajan 49 kVAR:ssa. Vikaantumisen vuoksi kokonaiskapasiteetin ollessa enää 250 kVAR verkon induktiivinen kuorma kasvaa liian suureksi ja loistehomaksua alkaa kertyä.

Kompensointiyksiköiden loistehosäätimen näyttö on esitetty kuviossa 14, jossa vihreät ledit vasemmalla osoittavat kulloinkin aktiiviset kompensointiportaat. Oikean puolimmainen segmenttinäyttö ilmoittaa tehokertoimen lisäksi onko kuorma induktiivinen vai kapasitiivinen. Kuvion 14 tapauksessa portaat 2,3,5,10, ja 12 ovat toiminnassa, tehokertoimenä 0,99. Pieni c näytössä ilmoittaa kapasitiivisesta kuormasta, jolloin automatiikan kuuluisi kytkeä lisää portaita päälle. Kuva on otettu ennen yksikön korjausta, joten kuvanottohetkellä kaikki kunnossa olevat portaat on päällä, eikä loistehoa voida kompensoida enempää. Kun näytön tehokertoimen edessä on pieni i, kuorma on induktiivinen ja automatiikka sulkee yhden portaan.



KUVIO 14. Loistehosäätimen näyttö

Näissä Norelco Oy:n estokelaparistoissa kuristimen induktanssi on mitoitettu muodostamaan resonanssitaajuuden 189 Hz:llä kondensaattorin kapasitanssin kanssa. Tämä estää resonanssitaajuuden syntyminen verkossa esiintyville harmonisille yliaaltotaajuuksille, eikä harmoninen yliaaltovirta pääse vahvistumaan.

### 3.4 Korjausehdotusten käsittely

Vuoden 2011 sähkötarkastuksen jälkeen oli tarjottu korjaukseksi molempien yksiköiden vaihtamista. Hinta-arviota ei ollut kirjattu ylös, vaan se oli muistinvaraisesti noin 10 000 €. Tuolloin loistehomaksua oli kertynyt vuodessa 1 281,69 €, joten takaisinmaksuaika oli ollut liian suuri ja korjausta oli päätetty siirtää. Tällöin kuitenkin alettiin seurata loistehon kulutusta.

Marraskuussa 2013 pyysin useammalta toimittajalta korjausehdotusta ja tarjousta. Tuolloin toimittajat ehdottivat kasettien vaihtamista, jonka kustannukset ilman vaihtotyön osuutta olivat toimittajasta riippuen 5 250 – 7 000 €. Loistehomaksua oli tuolloin kuluneena vuonna kertynyt jo 3 343,85 €.

Tiedustelin Norelco Oy:ltä olisiko korjaukseen muita vaihtoehtoja. Norelco Oy:stä minulle kerrottiin kyseisissä yksiköissä olleen ainoastaan kondensaattorivikoja. Useista muista yksiköistä oli vaihdettu aiemmin pelkät kondensaattorit onnistuneesti, eikä vaihtotyö ollut hankalaa. Kondensaattorien hinta vaihteli toimittajasta riippuen 1 780 – 1 950 €.

Halusin vielä varmistuksen, ettei laitteistossa ollut muita kuin kondensaattoriongelmiä. Pyysin paikallisen Päivärinnan Sähköliike Oy:n tarkastamaan laitteistoa. Tarkastuksessa havaittiin jokaisessa rikkinäisessä kasetissa olevan vuotavia kondensaattoreita, mutta muut kasettien sisältämät komponentit olivat kunnossa. Tarkastuksen perusteella teimme päätöksen vaihdattaa ainoastaan viallisten kasettien kondensaattorit ja päätettiin, että vaihdon yhteydessä mahdollisesti ilmenevät muut viat käsiteltäisiin tapauskohtaisesti.

## 4 KORJAUSTYÖ

Korjaustyön suoritti Päivärinnan Sähköliike Oy. Vaihtotyö aloitettiin perjantaina 9.5.2014 ja suoritettiin loppuun maanantaina 12.5.2014. Korjauksesta ilmoitettiin Elenia verkko Oy:lle perjantaina, he sulkivat loistehomittauksen ajalle 9-13.5.2014, ettei loistehopiikki aiheuttaisi ylisuurta loistehomaksua.

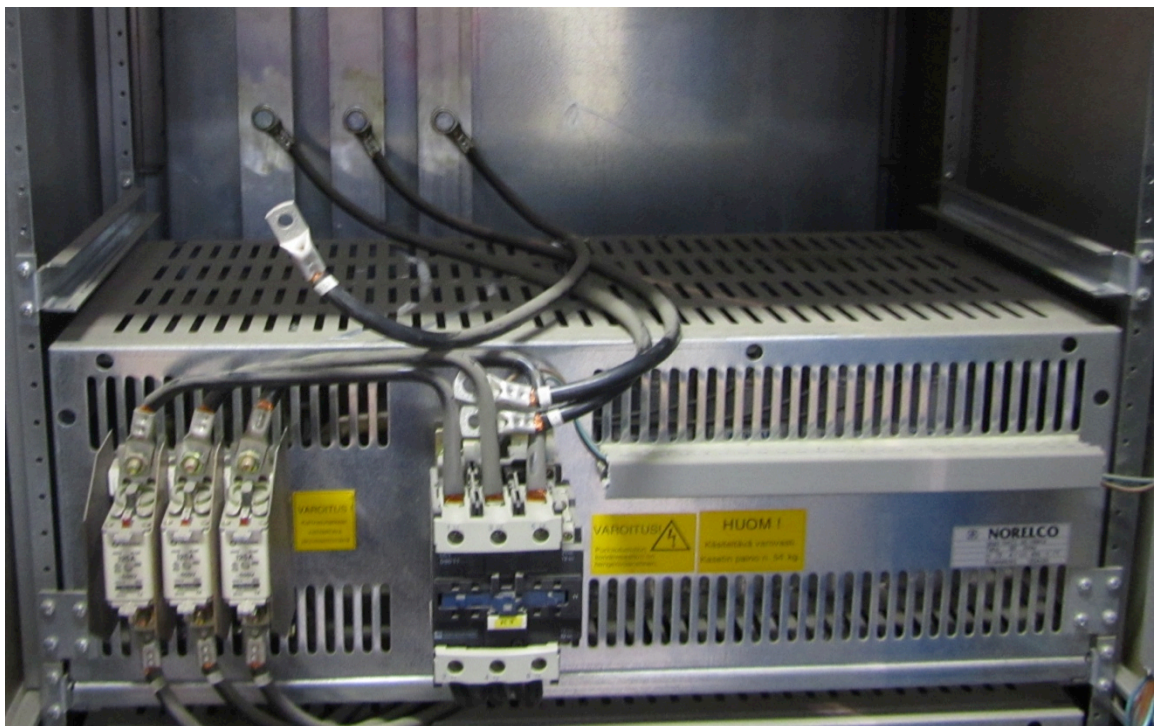
### 4.1 Työn kulku

Ensimmäisen kasetin kondensaattorit vaihdettiin Päivärinnan Sähköliikkeen tiloissa, jotta asentajat saivat käsityksen tarvittavista työkaluista ja tarvikkeista. Työn suorituksessa tarvittiin jatkoholkkeja, kutisteletkua, asennusjohdinta, johdinleikkureita, kuorintapihtejä, akkuporaa, puristuspihtejä, kuumailmapuhallinta, 13 ja 19mm lenkkiavaimia.

Kasetti oli kiinnitetty kaappiin neljällä ruuvilla, kaapelien irrotuksen jälkeen kasettia voitiin vetää ulospäin liukukiskoa pitkin ja nostaa kiskon reunalta huoltopöydälle. Suurempitehoisten kasettien painoksi valmistaja oli ilmoittanut 54 kg, joten liukukisko helpotti kasettien kaapista saamista huomattavasti. Kuviossa 15 kompensointiyksiköstä on irrotettu ensimmäinen kasetti, joka oli porras numero 2. Kuviossa 16 on näkyvillä porras numero kolmen laatikkorakenne, jossa näkyy portaan varokkeet ja kontaktori.



KUVIO 15. Loistehonkompensointi yksiköstä on poistettu porras numero 2



KUVIO 16. Porras numero 3



Kasettien kansiosa oli kiinnitetty laatikkomalliseen rakenteeseen kuudella ruuvilla, joiden irrottamisen jälkeen kansi voitiin poistaa. 50 kVAR:n kasetit sisälsivät 18kpl pystyyn asennettua 2,5 kVAR:n kondensaattoria. 25 kVAR:n hienosäätöporraan kasetissa 2,5 kVAR:n kondensaattoreita oli 9 kpl. Kondensaattorien pohjissa oli lyhyt kierretanko, josta ne oli kiinnitetty kasettien pohjissa olleisiin reikiin mutterilla. Kondensaattorien irrotus onnistuikin helpoiten kääntämällä kasetti nurinpäin ja poistamalla mutterit, jolloin kondensaattorit tipahtivat ja jäivät johtimien varaan roikkumaan. Johdinliitokset oli tehty abikoliittimin, joiden irrotuksen jälkeen kondensaattorit voitiin poistaa kaseteista. Kondensaattorien poiston jälkeen kelat tarkistettiin silmämääräisesti, eikä niissä havaittu mitään normaalia poikkeavaa. Hienosäätöporras oli ainoa epäkuntoinen porras, jonka varokkeet olivat kunnossa. Ilmeisesti automatiikka oli havainnut vikaantumisen ja sulkenut sen pois käytöstä.

Kaikissa viallisissa kaseteissa oli rikkiinäisiä kondensaattoreita, jotka olivat vuotaneet sisältämäänsä rypsiöljyä johtimien läpivienneistä, kuten Kuvion 17 kondensaattoreista. Öljyä ei kuitenkaan ollut valunut kasettien sisälle.



KUVIO 17. Kuvassa vanhoja, öljyä ulos vuotaneita kondensaattoreita

Kaappien ilmanvaihto on järjestetty pölysuotimen kautta, jonka takia pölyä ei ollut kertynyt paljon. Kasettien puhdistukseksi riittikin vähäisen pölyn poisto paineilman avulla. Uusien kondensaattorien kapasiteetti oli 25 kVAr, joten niitä asennettiin 50 kVAr:n kasetteihin kaksi. Uudet kondensaattorit asennettiin kasetteihin vaakaan, koska ne olivat huomattavasti vanhoja kookkaampia kuten Kuvio 18 voidaan havaita.



KUVIO 18. Vanha ja uusi kondensaattori

Kondensaattorien asennusta varten kasetin takaseinään porattiin kaksi kiinnitysreikää, joiden läpi kierretanko kiinnitettiin mutterilla. Uudet johdinliitokset tehtiin puristettavilla liitosholkeilla, jotka suojattiin vielä kutisteletkulla. Kannen sulkemisen jälkeen kasetti nostettiin paikalleen ja liitosjohtimet kiinnitettiin varokealustaan. Loput kondensaattorit vaihdettiin samaan tapaan. Työn suoritukseen meni

aikaa kaiken kaikkiaan kaksi työpäivää, joten korjaukseen verkkoyhtiöltä pyydetty huoltoaika riitti mainiosti.

## **4.2 Korjaustyön vaikutus loistehon määrään**

Korjaustyön tulokset näkyvät hyvin kuviossa 19. Loistehon määrässä oli notkahdus vuoden 2014 alussa, koska karkaistua lasia valmistettiin poikkeuksellisen vähän, jolloin karkaisu-uunin suuria jäähdytyspuhaltimia ei käytetty normaaliin tapaan. Tuolloin loistehoa kului 93-97kVAr/kk, eikä loistehosanktiomaksua peritty. Huhtikuussa 2014 tuotanto alkoi normalisoitua, joka näkyy pienenä nousuna loistehon määrässä. Loistehoa käytettiin 119 kVAr, josta sanktiomaksua tuli maksettavaksi 10,28 €.

Toukokuussa 2014, jolloin myös korjaustyö tehtiin, loistehon määrässä näkyy poikkeuksellisen suuri piikki 225 kVAr, joka oli mitattu 20.5.2014, eli korjaustyön jälkeen. Valitettavasti korjauksen aikana, korjaajilta olivat varokkeet loppuneet kesken. Varokkeet oli käyty asentamassa paikalleen, ilmoittamatta Elenia Oy:lle kompensoinnin sulkemisesta. Kompensoinnin sulkeminen aiheutti tilanteen, jossa kaikki tarvittava loisteho otettiin verkosta. Loistehomaksu oli erittäin suuri 562,44 €. Jos tilanne olisi huomattu ajoissa, olisi Elenia Oy voinut vielä palauttaa tai hyvittää ylisuuren sanktiomaksun.

Kesäkuussa 2014, joka oli ensimmäinen mittaus korjauksen jälkeen, loistehon määrä romahti 33 kVAr:iin, kuten oli tarkoituskin. Loistehon määrä pysyi noin 30 kVAr:n tasolla vuoden loppuun asti. Loppuvuoden aikana mitatut loistehot putoivat siis vuoden 2009 tasolle.



KUVIO 19. Loistehon määrän kehitys

### 4.3 Huomioita

Norelco Oy on antanut yksiköille huolto-ohjeen, jossa ensimmäinen huolto olisi tehtävä viimeistään kolmen kuukauden kuluttua asennuksesta. Silloin olisi tarkastettava kaapeliliitokset löystymisen varalta, varokkeet, säätimen toiminta, kontaktorien toiminta ja kondensaattorit. Tämän jälkeen edellä mainitut tarkastukset olisi tehtävä vuoden välein, lisäksi on puhdistettava tuuletusaukot, tarkistettava ettei kaapeissa ole epäpuhtauksia, ettei läpilyöntejä pääse syntymään. (Norelco 2000, 4.)

Lisäksi huolto-ohjeessa on maininta, ettei ympäristön lämpötila saa ylittää teknisissä arvoissa mainittua rajaa. Vanhojen kondensaattoreiden maksimi käyttölämpötila 50°C oli merkattu niiden tyyppikilpiin, uudet kondensaattorit kestävät huomattavasti korkeampaa lämpötilaa, niiden maksimi käyttölämpötila on 70°C. (Norelco 2000, 4.)

Kaikki edellä mainitut tarkastukset olivat jääneet tekemättä, tuulettimen ilman puhdistinkin oli vaihdettu vain satunnaisesti silloin kun oli satuttu muistamaan. Puhdistimen vaihto on tehty kaappeihin hankalaksi, mikä on edesauttanut vaihtamisen laiminlyöntiä. Kuviosta 20 näkee, kuinka vaihtaminen on tehtävä oven sisäpuolelta eikä tuuletinta voida sammuttaa vaihdon ajaksi, mikä hankaloittaa



entisestään suodattimen paikalleen asettamista ahtaaseen tilaan. Likaista suodatinta poistettaessa tuuletin imaisee osan suodattimesta olevasta pölystä, puhaltuen ne hengitysilmaan.

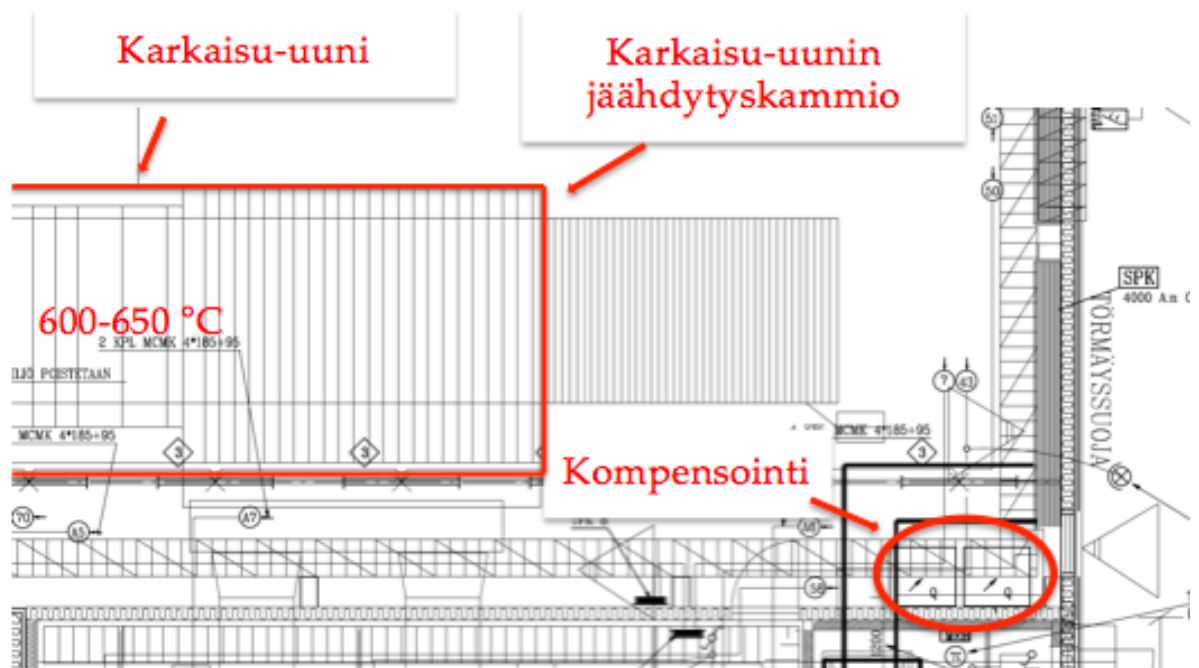


KUVIO 20. Yksikön tuuletin

Huomasimme jo kompensointiyksiköiden tarkastuksessa kaikkien vikaantuneiden portaiden olevan kaapeissa ylhäällä, tästä päättelimme, ettei jäädytys ole ollut riittävä ja ylimmäiset portaavat ovat päässeet ylikuumentumaan. Päätimme asentaa kaappien tuloilma-aukkojen eteen ulkoiset suodatinkotelot, jotta suodattimien vaihtaminen helpottuisi eikä ilma-aukko tukeutuisi. Tukkeutunut ilma-aukko ei päästä raitista ilmaa puhaltimelle, jolloin puhallin ylikuormittuu ja alkaa ylikuumentua ja lämmittää kaapin sisäilmaa entisestään.

Kompensointiyksiköiden sijaintikaan, joka näkyy kuviossa 21, ei ole optimaalinen lämpöherkille laitteille, koska niiden välittömässä läheisyydessä sijaitsee karkaisu-uuni, jonka lämpötila on noin 600-650°C. Uuni itsessään ei lämmitä ympäristöään kovin laajalle alueelle, mutta neljän millin lasia karkaistaessa on lasi jäähdytettävä nopeasti, jolloin uunin loppukammioon puhalletaan suuri määrä jäähdytysilmaa,

joka purkautuu uunista kompensointiyksikön suuntaan. Puhallusvaiheessa uunin takana oleva tila, jossa myös kompensointi sijaitsee lämpenee useita kymmeniä asteita. Tämä tila on kesän hellepäivinä hallin kuumin paikka, jossa peruslämpötila kohoaa reilusti yli 30°C. Kun tätä lämpötilaa nostaa vielä uuniin jäähdytysilma, kohoaa lämpö hetkittäin lähes 50°C:een. Näin korkea lämpö voi olla osasyynäinen kondensaattoreiden rikkoontumiseen.



KUVIO 21. Kompensointiyksiköiden sijainti

Jos yksiköitä olisi huollettu huolto-ohjeen mukaan, olisi portaiden ongelmat ehkä huomattu aiemmin eikä kaikkia ongelmia olisi välttämättä päässyt syntymään.

Loistehon määrää pitäisi seurata sähkölaskusta, jotta ongelmiin pystyttäisiin puuttamaan hyvissä ajoin. Jos kompensointia olisi korjattu heti, kun loistehon määrä ylitti 40 kVAR:a, korjattavaa olisi ollut paljon vähemmän ja tulevia ongelmia olisi voitu välttää. Loisteho on kuitenkin maallikoille tuntematon käsite, useimmat eivät tiedä siitä mitään. Jotkut ovat asiasta saattaneet jossain kuulla, mutta eivät ymmärrä mistä se johtuu. Tämän takia Pilkington Finland Oy:lläkin sähkölaskuun merkattu loistehon määrä oli jäänyt täysin huomiotta. Jos sähkölaitteiston käytön-

johtaja ei olisi asiaa huomannut, loistehon sanktiomaksua maksettaisiin edelleen, luullen sen olevan välttämätöntä, eikä asiaan olisi kiinnitetty lainkaan huomiota.

Karkaisu-uunin ja kompensointiyksiköiden väliin olisi suositeltavaa tehdä ilmanohjain rakenne, joka ei päästäisi kuumaa jäähdytys ilmaa purkaantumaa yksiköiden suuntaan. Myös yksiköiden siirtoa viileämpään ja pölyttömään paikkaan voisi harkita. Tällä hetkellä on erittäin tärkeää huolehtia kompensointiyksiköiden riittävästä ilmanvaihdosta. Kompensointiyksiköiden ilmansuodattimia on vaihdettava useammin ja niiden ympäristö on pidettävä puhtaana, ettei ylimääräistä tukkeentumista tapahtuisi. Vaikka kompensointiyksiköt päädyttäisiin siirtämään, on huollot suoritettava vähintään laitteiston valmistajan huolto-ohjeen mukaisesti.

Tämän kaltaisia kalliita korjauksia suunniteltaessa on muistettava, että huoltoja tekevät yritykset pyrkivät maksimoimaan omat voittonsa, jolloin heiltä ei välttämättä tarjota ensimmäisenä vaihtoehtona halvinta mahdollista ratkaisua. Korjauksen kilpailuttaminen saa alihankkijat puristamaan hintansa mahdollisimman alas ja syntyy yllättävän isoja eroja loppusummaan.

#### **4.4 Johtopäätökset**

Tehtäväkseni annettiin selvittää kompensoinnin vajaatoiminnan syy ja mahdolliset korjausvaihtoehdot sekä mahdollinen korjaus, jos se voitaisiin suorittaa riittävän edullisesti. Tehtävä suoritettiin pyydettyllä tavalla. Korjausvaihtoehdoista valittiin kustannustehokkain, jossa korjaustyön kokonaiskustannukset olivat 3 466,03€. Tämä ei ole paljon, jos vertaamme pelkästään loistehosanktiomaksuun, jota on kertynyt vuodesta 2010 kaiken kaikkiaan 8 187,45€.

Mielestäni opinnäytetyö onnistui todella hyvin, korjautuskustannukset pienenevät merkittävästi alkuperäisestä tarjouksesta, eikä korjauksen jälkeen loistehon määrä enää ylittänyt sanktiomaksurajaa. Säästöä kertyy myös pienemmästä tehon siirrosta. Aivan täydellinen työn suoritus ei kuitenkaan ollut ja paremmalla tiedon vaihdolla olisi ylimääräinen loistehomaksu varokkeiden vaihdon yhteydessä jäänyt tulematta.

Jatkossa kompensointiyksiköistä on kuitenkin pidettävä parempaa huolta, etteivät ongelmat pääse uusiutumaan. Yksiköiden jäähdytys ongelmiin olisi puututtava pikimmiten. Karkaisu-uunista tulevan kuuman jäähdytysilman pääsy kompensointiyksiköihin tulisi estää, etteivät kondensaattorit yli kuumentuisi. Yksiköt sisältävät vielä useita vanhoja kondensaattoreita, joiden maksimi käyttölämpötilan on 50°C.

## LÄHTEET

ABB Industry Oy. Vaihtovirtakäyttöjen yliaalto-opas. Www-dokumentti. Saatavissa:

[http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/9aaf3178627952c7c1256d2800411f8d/\\$file/tekninen\\_opas\\_nro\\_6.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/9aaf3178627952c7c1256d2800411f8d/$file/tekninen_opas_nro_6.pdf) Luettu 4.7.2014

ABB TTT-Käsikirja 2000-07. Luku 4: Sähkön laatu.

ABB TTT-Käsikirja 2000-07. Luku 9: Loistehon kompensointi ja yliaaltosuojaus.

Ahoranta, J. 2012. Sähkötekniikka. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Alstom Finland Oy. Pienjännitetuotteiden tuoteopas. Www-dokumentti. Saatavissa:

<http://www.alstom.com/Global/Finland/Resources/Documents/Pienj%C3%A4nnitetuotteiden%20tuoteopas.pdf> Luettu 22.10.2014

Aura, L., Tonteri, A. 1993. Sähkölaitostekniikka. Helsinki: WSOY.

Elenia Oy 2014. Pilkington Finland Oy:n sähkölaskuerittelyt ajalta 1.1.2013-31.12.2013

Elenia Oy 1.1.2014. Verkkopalveluhinnasto. Www-dokumentti. Saatavissa:

[http://www.elenia.fi/sites/www.elenia.fi/files/Verkkopalveluhinnasto\\_01012014\\_web.pdf](http://www.elenia.fi/sites/www.elenia.fi/files/Verkkopalveluhinnasto_01012014_web.pdf) Luettu 1.5.2014

Elovaara, J., Haarla, L. 2011. Sähköverkot 1. Helsinki: Otatieto Oy.

Hieta-Wilkman, S., Hiltunen, I., Jumpponen, E., Laitinen, M., Kovalainen, S., Roinen, R., Sulonen, R. & Tertsunen, S. 2000. Sähköasennukset 2. Helsinki: Sähköinfo Oy.

Keskipohjanmaa 6.11.2002. Pilkington osti Nivalassa toimineen Keskipohjan Lasin. 2002. Www-dokumentti. Saatavissa:

<http://www.kp24.fi/uutiset/35678/Pilkington-osti-Nivalassa-toimineen-Keskipohjan-Lasin> Luettu 24.4.2014

Norelco Oy 2000. Norelcon automaattiparistojen asennus- ja käyttöohje.

Pilkington. Tietoa Pilkingtonista. Www-dokumentti. Saatavissa:

<http://www.pilkington.com/fi-fi/fi/tietoa-pilkingtonista> Luettu 24.4.2014

Silvonen, K. 2009. Sähkötekniikka ja piiriteoria. Helsinki: Otatieto.

Talousanomat. Pilkington Finland Oy. 2013. Www-dokumentti. Saatavissa:

<http://yritys.taloussanomat.fi/y/pilkington-finland-oy/nivala/0619809-7/> Luettu 24.4.2014

Tuusa, H. Miten loistehoa voisi välttää ja tuleeko loisteho jossakin vaiheessa maksulliseksi. Www-dokumentti. Saatavissa:

<http://www.aka.fi/fi/T/Kysytyt-kysymykset/Miten-loistehoa-voisi-valttaa-ja-tuleeko-loisteho-jossakin-vaiheessa-maksulliseksi/> Luettu 4.6.2014